

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-012977  
(43)Date of publication of application : 15.01.2002

(51)Int.CI.

C23C 16/509  
C23C 16/42  
G02F 1/13  
G02F 1/1333  
H01L 21/205  
H01L 21/3065  
H01L 21/31  
H05H 1/46

(21)Application number : 2000-199720  
(22)Date of filing : 30.06.2000

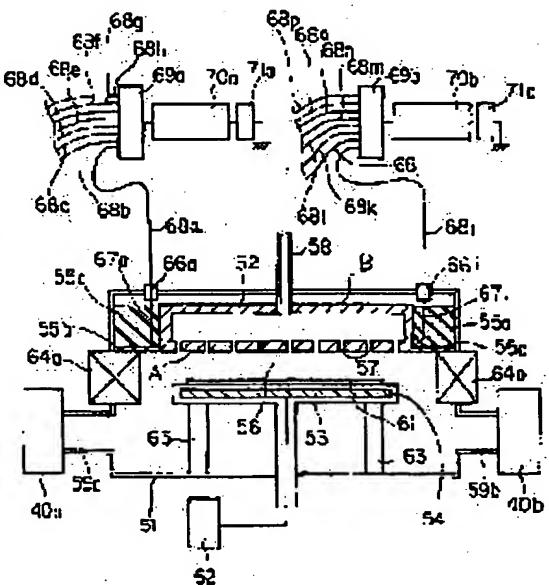
(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD  
(72)Inventor : MURATA MASAYOSHI  
TAKEUCHI YOSIAKI  
MAJIMA HIROSHI  
AOI TATSUFUMI

## (54) APPARATUS AND METHOD FOR SURFACE TREATMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an apparatus and a method for rapidly forming a film with superior uniformity even on a large area substrate of having such an area as 1 m × 1 m to 2 m × 2 m.

**SOLUTION:** The surface treatment apparatus which is provided with a vacuum vessel 51 having an exhaust system, inside which the substrate is set, a gas introduction system for introducing a gas for discharge into the vacuum vessel 51, an electrode 52 arranged so as to face the substrate in the vacuum vessel, and a power supply system for supplying a high-frequency power to the electrode 52 and forming plasma by discharging the gas together with it, and which treats the surface of the substrate by utilizing the formed plasma, is characterized in that power supplying points 65a to 65p to the electrode 52 from the power supply system are located in the side of a boundary zone between a first face contacting with a space in which the plasma is formed and a second face which is a back face of the first face, out of the whole surface of the electrode.



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-12977

(P2002-12977A)

(43)公開日 平成14年1月15日 (2002.1.15)

(51)Int.Cl'	識別記号	F I	マーク(参考)
C 23 C 16/509		C 23 C 16/509	2 H 0 8 8
16/42		16/42	2 H 0 9 0
G 02 F 1/13	1 0 1	G 02 F 1/13	1 0 1 4 K 0 3 0
1/1333	5 0 0	1/1333	5 0 0 5 F 0 0 4
H 01 L 21/205		H 01 L 21/205	5 F 0 4 5

審査請求 有 請求項の数15 OL (全21頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-199720(P2000-199720)

(22)出願日 平成12年6月30日 (2000.6.30)

(71)出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72)発明者 村田 正義

長崎県長崎市深堀町五丁目717番地1 長  
菱エンジニアリング株式会社内

(72)発明者 竹内 良昭

長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工業株式会社長崎研究所内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外5名)

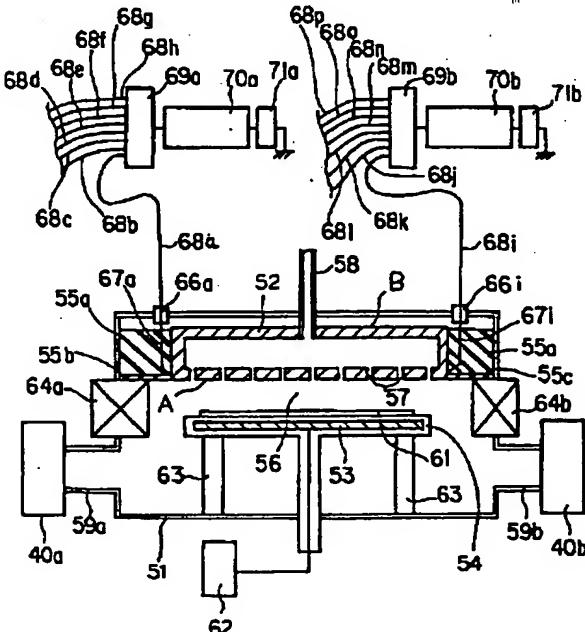
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 表面処理装置及び表面処理方法

(57)【要約】

【課題】本発明は、1m×1m乃至2m×2m級の大面積基板に対しても高速且均一に優れた膜を形成することを課題とする。

【解決手段】内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器51と、この真空容器51内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、前記真空容器内に前記基板と対向して配置された電極52と、電極52に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して真空容器51に配置される基板の表面を処理する表面処理装置において、前記電力供給系による前記電極52への電力供給箇所65a～65pは、前記電極の全表面のうち、プラズマが生成される空間に接する第1の面と、該第1の面の裏側である第2の面との境界の側面に位置することを特徴とする表面処理装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、前記真空容器内に前記基板と対向して配置された電極と、この電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して真空容器に配置される基板の表面を処理する表面処理装置において、

前記電力供給系による前記電極への電力供給箇所は、前記電極の全表面のうち、プラズマが生成される空間に接する第1の面と、該第1の面の裏側である第2の面との境界の側面に位置することを特徴とする表面処理装置。

【請求項2】 内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、前記真空容器内に前記基板と対向して配置された電極と、第1の超高周波電源及び該超高周波電源と独立した第2の超高周波電源とを有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して真空容器に配置される基板の表面を処理する表面処理装置であり、

前記電極は方形の形状を有し、前記電極の一つの側面である第1の側面に、等ピッチ間隔に前記第1の超高周波電源の出力回路に接続された複数の第1の電力供給端が1つずつ取り付けられ、かつ、前記第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に、等ピッチ間隔に前記第1の超高周波電源の出力の周波数とほぼ同じ周波数の超高周波電力を発生し、前記第2の超高周波電源の出力回路に接続された複数の第2の電力供給端が1つずつ取り付けられていることを特徴とする表面処理装置。

【請求項3】 内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源を有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理装置であり、

前記電極は方形の形状を有し、前記電極の一つの側面である第1の側面と、この第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に、夫々等ピッチ間隔に、前記高周波電源の出力回路に接続された複数の電力供給箇所が1つずつ取り付けられていることを特徴とする表面処理装置。

【請求項4】 前記電力供給系による電極の電力供給箇所への電力供給に同軸ケーブルを用いることを特徴とする請求項1～3いずれか記載の表面処理装置。

【請求項5】 前記高周波電力の周波数は、10MHz

から300MHzのHF帯乃至VHF帯に属していることを特徴とする請求項1～3いずれか記載の表面処理装置。

【請求項6】 前記電力供給系は、高周波電力を発生させる少なくとも1台の高周波電源と、該高周波電源の出力を前記複数の電力供給箇所の数に相当する数に分岐させる少なくとも1台の電力分配器と、該高周波電源から少なくとも1台の電力分配器の間に高周波電力伝送用同軸ケーブルを介して配置された少なくとも1台の整合器と、前記電力分配器で分岐された高周波電力を前記電力供給箇所の各々に導く複数の燃り線型同軸ケーブルとから構成されていることを特徴とする請求項2記載の表面処理装置。

【請求項7】 前記基板面にアモルファスSi系薄膜、微結晶Si系薄膜、及び多結晶Si系薄膜のうちいずれかを製膜することを特徴とする請求項1～3いずれか記載の表面処理装置。

【請求項8】 前記電極は方形な形状を有し、プラズマを利用して処理される前記基板は太陽電池用、または液晶ディスプレイ用、または大規模集積回路用の基板であることを特徴とする請求項1～3いずれか記載の表面処理装置。

【請求項9】 排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、この電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法において、前記電極の側面に電力供給箇所を設け、該電力供給箇所に前記電力供給系を用いて電力を供給するようにしたことを特徴とする表面処理方法。

【請求項10】 内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、互いに独立した高周波電力を発生する少なくとも2台の第1及び第2の超高周波電源を有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備した表面処理装置を用いて、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法であり、

前記電極の形状を方形とし、前記電極の一つの側面である第1の側面に第1の複数の電力供給端を等ピッチ間隔で取り付け、前記第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に第2の複数の電力供給端を等ピッチ間隔で取り付け、前記第1の超高周波電源の出力回路と前記第1の複数の電力供給端を1つずつ同軸ケーブルで接続し、かつ、前記第2の超高周波電源の出力回路と上記第2の複数の電力供給端を1つずつ同軸ケーブルで接続するようにしたことを特徴とする表面処理方法。

【請求項11】 内部に基板がセットされる、排気系を

備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源を有し、前記の電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備した表面処理装置を用いて、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法であり。

前記電極の形状を方形とし、前記電極の一つの側面である第1の側面に、等ピッチ間隔に第1の複数の電力供給端を取り付け、上記第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に等ピッチ間隔に第2の複数の電力供給端を取り付け、上記超高周波電源の第1の出力回路及び第2の出力回路をそれぞれ上記第1及び第2の複数の電力供給端に1つずつ同軸ケーブルで接続するようにしたことを特徴とする表面処理方法。

【請求項12】 前記高周波電源として10MHz乃至300MHzを発振し所要の電力を供給する超高周波電源を用い、少なくとも1台の整合器と複数の同軸ケーブルを用いて前記超高周波電源の10MHz乃至300MHzの出力電力を電力供給箇所に供給するようにしたことを特徴とする請求項9～11いずれか記載の表面処理方法。

【請求項13】 放電ガスとして、少なくともモノシリジンガスを用いてアモルファスSi系薄膜、微結晶Si系薄膜及び多結晶Si系薄膜のいずれかを製膜するようにしたことを特徴とする請求項9～12いずれか記載の表面処理方法。

【請求項14】 基板として50cm×50cmの面積を超える大面積基板を用い、かつ、基板温度を80°C乃至350°Cにして表面処理を行うようにしたことを特徴とする請求項9～13いずれか記載の表面処理方法。

【請求項15】 内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源を有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備した表面処理装置を用いて、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法であり。

前記電極の形状を方形とし、前記電極の4つの側面のうち一つの側面である第1の側面と、該第1の側面に対向する第2の側面に前記電力供給系に接続される電力供給箇所を夫々に複数個設置し、前記第1の側面及び第2の側面に設置された電力供給箇所に夫々前記高周波電源の第1の出力と第2の出力を接続し、位相が互いに時々刻々と変化する2つの電力を供給するようにしたことを特徴とする表面処理方法。

【発明の詳細な説明】

### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、放電用ガスのグロー放電プラズマを利用して基板の表面に所定の処理を施す表面処理装置及び表面処理方法に関する。本発明は、特に、周波数10MHz～300MHzの高周波電力により生じさせた放電用ガスのグロー放電によって、プラズマを生成する反応性プラズマによる表面処理装置及び表面処理方法に関する。

### 【0002】

【従来の技術】反応性プラズマを用いて基板の表面に各種処理を施し、各種電子デバイスを製作することは、LSI（大規模集積回路）、LCD（液晶ディスプレイ）、アモルファスSi系太陽電池、薄膜多結晶Si系太陽電池、複写機用感光体及び各種情報記録デバイスなどの分野にて既に実用化されている。

【0003】上記表面処理の技術分野は、薄膜形成、エッチャリング、表面改質など多岐に亘るが、いずれも反応性プラズマの化学的作用を活用したものである。上記反応性プラズマの生成に係る装置及び方法の代表例は、特開平8-325759（文献1）、及びA voltage uniformity study in large-area reactors for RF Plasma deposition: L. Sansonnens, A. Pletzer, D. Magni, A. A. Howling, Ch. Hollenstein and J. P. M. Schmitt, Plasma Source Sci. Technol. 6 (1997), p. 170-178（文献2と呼ぶ）に記載されている。

【0004】以下に、従来技術を代表して、3つの事例即ち3種類の装置構成及び方法を図20ないし図24を参照して説明する。

【0005】（従来例1）まず、従来例1として、文献1記載の第1の装置について図22を参照して説明する。真空容器1内には、グロー放電プラズマを発生させるための一対の電極、即ち非接地電極2と基板ヒータ3を内蔵した接地電極4が配置されている。前記非接地電極2は、絶縁物5を介して真空容器1の上部に取り付けられている。前記非接地電極2には、整合器6、所定の高周波電力を発生する高周波電源7が同軸ケーブル8を介して接続され、高周波電源7からの出力が非接地電極2の電力供給箇所9に供給される。なお、電力供給箇所9は、非接地電極2の大気側の面即ちプラズマが生成される空間10に接しない面に位置している。また、高周波電源7より出力される電力の周波数は13.56MHzが一般的に用いられている。

【0006】前記真空容器1には放電用ガス導入管11を介してポンベ（図示せず）に接続され、このポンベから真空容器1内に例えばモノシリジン（SiH<sub>4</sub>）が供給される。前記真空容器1には排気管12を介して真空ポンプ13が接続され、真空容器1内のガスが排気管12を通して真空ポンプ13により排出される。基板14は前記接地電極4上に設置され、基板ヒータ3及び該基板

ヒータ3に接続された基板ヒータ電源15により所定の温度に加熱される。

【0007】次に、こうした構成の装置を用いて基板14上にアモルファスSi(a-Si)膜を製膜する場合について説明する。まず、基板14を、図示しない基板搬入・搬出ゲートを介して接地電極4上に設置し、真空ポンプ13を駆動して真空容器1内を圧力 $1 \times 10^{-7}$  Torrまで排気する。また、基板14の温度を、基板ヒータ3及び基板ヒータ電源15を用いて所定の温度に設定する。次に、放電用ガス導入管11を通して例えばモノシリコンガスを所定量真空容器1内に供給し、真空容器1内の圧力を $0.05 \sim 0.5$  Torrに保ち、電力供給系即ち高周波電源7、整合器6及び同軸ケーブル8を用いて、一対の非接地電極2、接地電極4に電力を供給する。これにより、非接地電極2、接地電極4の間にグロー放電プラズマが生成される。モノシリコンガスがプラズマ化されると、その中に存在するSiH<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>、SiHなどのラジカルが拡散現象により拡散し、基板14の表面に吸着・堆積されることにより、a-Si膜が形成される。

【0008】なお、製膜条件として放電用ガスの混合比例えばSiH<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>の流量比、圧力、基板温度、及びプラズマ発生電力等を適正化することで、a-Siのみならず、微結晶Si及び多結晶Siを製膜できることは公知である。

【0009】また、放電用ガスとしてエッチング作用をするガス、例えばSF<sub>6</sub>、SiCl<sub>4</sub>、CF<sub>4</sub>及びNF<sub>3</sub>などエッティングガスを用いれば、基板の表面に所定のエッティング処理を行なえることは公知である。

【0010】(従来例2)次に、従来例2として、文献1記載中の第2の装置について図23及び図24を参照する。但し、図22と同部材は同符番を付して説明を省略する。図中の符番21は、真空容器の側壁に設けられたゲートバルブを示す。このゲートバルブ21より基板14が出し入れされる。前記真空容器1の上部に位置する絶縁物5の内側には、内部が空洞の非接地電極2が配置されている。この非接地電極2の下面(前面)2a即ちプラズマが生成される空間10には、直径0.5mm程度の多数のガス噴出し孔2bが孔間隔10~15mmで形成されている。前記非接地電極2の上面には、放電用ガスの開口部2cが形成されている。前記非接地電極2の開口部2cには、接続部材23を介して放電用ガス導入管11bが接続されている。この放電用ガス導入管11bから非接地電極2の内部に例えばモノシリコンガス(SiH<sub>4</sub>)が供給される。前記非接地電極2上には、高周波電源の出力を複数に分岐する電力分配器25が配置されている。

【0011】前記非接地電極2と前記接地電極4により、真空容器1内にはグロー放電プラズマが発生される。前記非接地電極2の形状は長方形又は正方形の板状

の部材(厚さ60mm、500mm×500mm程度乃至1000mm×1000mm程度)で、材質はステンレス鋼である。前記非接地電極2には、高周波電源7、整合器6及び前記電力分配器25より構成される電力供給系より所要の電力が供給される。

【0012】前記電力分配器25は、図24に示すように、中央に配置された円柱状の接続ポート26、この接続ポート26から放射状に伸びる4本の帯板状の分岐ポート27及び4本の円柱部材28a、28b、28c、28dより構成されている。

【0013】なお、図24中の符番9a、9b、9c、9dは、夫々電力供給個所を示す。前記真空容器1内のガスは、排気管12を通して真空ポンプ13より排出される。基板14は、前記ゲートバルブ21を開にして接地電極4上に設置され、基板ヒータ3及び基板ヒータ電源15により所定の温度に加熱される。

【0014】次に、図21の装置を用いて例えばa-Si膜を製膜する場合について説明する。まず、ゲートバルブ21を開にして、基板14を接地電極4上に設置した後、ゲートバルブ21を閉にする。つづいて、真空ポンプ13を駆動して真空容器1内を圧力 $1 \times 10^{-7}$  Torr程度まで排気する。次に、前記基板14の温度を、基板ヒータ3及び基板ヒータ電源15を用いて所定の温度に設定する。更に、放電用ガス導入管11a、11bを通して、例えばモノシリコンガスを所定量供給し、真空容器1内の圧力を $0.05 \sim 0.5$  Torrに保ち、電力供給系を用いて一対の電極即ち非接地電極2、接地電極4に電力を供給する。これにより、両電極2、4間にグロー放電プラズマが生成される。

【0015】モノシリコンガスがプラズマ化されると、その中に存在するSiH<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>、SiHなどのラジカルが拡散が拡散現象により拡散し、基板14の表面に吸着・堆積されることによりa-Si膜が形成される。なお、製膜条件として、放電用ガスの混合比、例えばSiH<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>の流量比、圧力、基板温度、及びプラズマ発生電力などを適正化することで、a-Siのみならず、微結晶Si及び多結晶Siを製膜できることは公知である。また、放電用ガスとしてエッティング作用をするガス、例えばSF<sub>6</sub>、SiCl<sub>4</sub>、CF<sub>4</sub>及びNF<sub>3</sub>などエッティングガスを用いれば、基板14の表面に所定のエッティング処理を行なえることは公知である。

【0016】(従来例3)次に、従来例3として、文献2記載の装置について、図25及び図26を参照して説明する。但し、図22、図23と同部材は同符番を付して説明を省略する。

【0017】符番31は高周波発振器を示し、高周波電力増幅器32を介して前記整合器6に接続されている。ここで、前記高周波発振器31及び高周波増幅器32から高周波電源が構成されている。前記真空容器1の壁面には真空用電流導入端子33が設けられ、この導入端子

33を通った同軸ケーブル8により非接地電極2と整合器6とが接続されている。前記真空容器1内では、一対の電極、即ち非接地電極2と基板14が設置される壁(底面)34によりグロー放電プラズマが発生する。前記非接地電極2には、真空用電流導入端子33、同軸ケーブル8及び整合器6を介して前記高周波電源の高周波電力が供給される。この場合、電源周波数は70MHzである。前記非接地電極2の後面(プラズマが生成される空間に接しない面)には、図26に示すようにH文字\*

\* 状の給電線35が形成されている。この給電線35のコーナー部には、夫々電力供給個所9a, 9b, 9c, 9dが形成されている。

【0018】このような装置により、サイズ350mm×450mmのガラス基板(厚さ1mm)上に下記表1に示す製膜条件でa-Si膜が製膜されている。

【0019】

【表1】

表 1

条件	
基板	350mm×450mm×1mmのガラス
基板温度	200°C
放電ガス	モノシリコン(SiH <sub>4</sub> )
圧力	0.2 Torr
流量	100 sccm
電源周波数	70 MHz

【0020】その結果、膜厚分布±18%のa-Si膜が得られている。

【0021】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記の表面処理技術、即ち表面処理装置と表面処理方法は、LCD, LSI, 電子複写機及び太陽電池等の産業分野のいずれにおいても、生産性向上に伴う製品コストの低減及び大面积壁掛TVなど性能(仕様)の改善等大面积化及び高速処理化のニーズが年々強まっている。

【0022】最近では、上記ニーズに対応する為、産業界のみならず、学会でも特にプラズマCVD(化学蒸着)技術及びプラズマエッチング技術とともに、VHF帯(30MHzないし300MHz)の電源を用いた高密度プラズマCVDの高速製膜技術及び高速プラズマエッチング技術の研究が盛んになっている。

【0023】しかしながら、従来技術では、以下に述べるような課題が依然として存在している。

1) 第1に、プラズマによる表面処理の大面積化(生産性向上及び性能向上)がある。プラズマ表面処理の装置及び方法としては、先に述べた図22~図26に示した技術が用いられている。本発明者らの研究によると、従来技術により、例えばa-Si膜の製膜を行なうと、基板面積が50cm×50cm程度の場合、図20に示す様に、また、基板面積が100cm×100cm程度の場合、図21に示す様に、電源周波数の増加に伴ない、膜厚分布は著しく悪いという問題があることが判明し

た。

【0024】一般的に、LCD分野では±5%の膜厚分布、太陽電池分野では±10%の膜厚分布が実用化の一つの指標となっている。従って、従来技術では、電源周波数13.56MHz以外では、基板面積0.5m×0.5m級ないし1m×1m級では実用に供せられないとの問題を有している。

【0025】2) 第2には、表面処理の高速化(生産性の向上)がある。プラズマを利用した表面処理技術の高速化を図るには、プラズマ発生の電源周波数を従来実用化されている13.56MHzから約4倍乃至約10倍の50MHz乃至150MHz級へ増大することが望まれている。

【0026】プラズマ密度はその周波数を増加すれば、その増加に伴なって増大する。即ち、約4倍乃至約10倍へ増大すれば、製膜速度もその増大に見合った分高速化される。しかしながら、図19(A), (B)に示したように、プラズマ発生の電源周波数を増加させると、膜厚分布が著しく悪くなるという問題があることが判明した。

【0027】その理由として、高周波数になると、その波の波長と電力供給系の伝播経路即ち高周波電源から電極までの伝播経路及び電極上での伝播路の長さが近似的に略等しくなり、波の干渉現象(波の反射波とも干渉)が発生し、プラズマ密度の空間的な均一性が保てなくなることが考えられる。

【0028】また、別な理由として、従来の13.56MHzの周波数でも発生するが、高周波の電波特有の現象である表皮効果が50MHz乃至150MHzになると、より一層顕著になることが考えられる。即ち、表皮効果は高周波数の電流が導体の表面近傍のみを現れる現象で、その電流の流れる表面深さ $\delta$ は、

$$\delta = (3.14 \times f \cdot \mu \cdot \sigma)^{-0.5}$$

但し、 $f$ ：周波数、 $\mu$ ：透磁率、 $\sigma$ ：導電率で表わされる。例えば、導体が銅の場合、その表面深さは13.56MHzで約19μm、50MHz～60MHzで約10μm、150MHzで約5.8μmである。従って、VHF帯(30MHz～300MHz)でのプラズマを用いた表面処理技術では、高周波電源から電極への電力供給伝播経路でのインピーダンス増大及びその不均一性により、プラズマ密度の空間的な均一性が保てなくなるとも考えられる。

【0029】従って、生産性向上や低コスト化に必要な1m×1m乃至2m×2m級の大面積基板に関するプラズマ電源の高周波数化によるプラズマ表面技術の向上は、非常に困難で、不可能視されている。なお、プラズマ密度はプラズマ発生用電源周波数にほぼ比例して増大するので、関連技術分野学会においてもそのような研究が活発化しているが、大面積化への成功例は未だない。

【0030】本発明は上記課題を解決するためになされたもので、従来と比べてサイズが各段に大きな基板、例えば1m×1m乃至2m×2m級の大面積基板に対しても周波数の大きい超高周波(VHF)を用いて高速かつ均一性に優れた表面処理装置及び表面処理方法を提供することを目的とする。

### 【0031】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する為に、本願の請求項1記載の発明は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、前記真空容器内に前記基板と対向して配置された電極と、この電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して真空容器に配置される基板の表面を処理する表面処理装置において、前記電力供給系による電極への電力供給箇所は、前記電極の全表面のうち、プラズマが生成される空間に接する第1の面と、該第1の面の裏側である第2の面との境界の側面に位置する構成を有する。

【0032】同様に上記目的を達成するため、請求項2の発明は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、この真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、前記真空容器内に前記基板と対向して配置された電極と、第1の超高周波電源及び該超高周波電源と独立した第2の超高周波電源とを有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラ

ズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して真空容器に配置される基板の表面を処理する表面処理装置であり、前記電極は方形の形状を有し、前記電極の一つの側面である第1の側面に、等ピッチ間隔に前記第1の超高周波電源の出力回路に接続された複数の第1の電力供給端が1つずつ取り付けられ、かつ、前記第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に、等ピッチ間隔に前記第1の超高周波電源の出力の周波数とほぼ同じ周波数の超高周波電力を発生し、前記第2の超高周波電源の出力回路に接続された複数の第2の電力供給端が1つずつ取り付けられている構成を有している。

【0033】なお、請求項2(他の請求項も同様)において、上記「等ピッチ間隔」には、全く等しいピッチ間隔のみならず、ほぼ等しいピッチ間隔の場合も含むことを意味する。

【0034】同様に上記目的を達成するため、請求項3の発明は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用

ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源を有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理装置であり、前記電極は方形の形状を有し、前記電極の一つの側面である第1の側面と、この第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に、夫々等ピッチ間隔に、前記高周波電源の出力回路に接続された複数の電力供給箇所が1つずつ取り付けられているという構成を有している。

【0035】同様に上記目的を達成するため、請求項4の発明は、請求項1～3において、電力供給系による電極の電力供給箇所への電力供給に同軸ケーブルを用いる構成を有している。

【0036】同様に上記目的を達成するため、請求項5の発明は、請求項1～3において、高周波電力の周波数は、10MHzから300MHzのHF帯乃至VHF帯に属する構成を有している。ここで、高周波電力の周波数を上記のように規定したのは、周波数が10MHz未満では電子温度が高く、高品質のSi系薄膜が得られないこと及びプラズマ密度が低く、表面処理の速度が遅いので応用価値が低いことであり、また周波数が300MHzを超えると電力伝送手段に同軸ケーブルが用いられず、導波管を用いる必要があり実用性がないからである。

【0037】同様に上記目的を達成するため、請求項6の発明は、請求項2において、前記電力供給系は、高周波電力を発生させる少なくとも1台の高周波電源と、該高周波電源の出力を前記複数の電力供給箇所の数に相当

する数に分岐させる少なくとも1台の電力分配器と、該高周波電源から少なくとも1台の電力分配器の間に高周波電力伝送用同軸ケーブルを介して配置された少なくとも1台の整合器と、前記電力分配器で分岐された高周波電力を前記電力供給箇所の各々に導く複数の撚り線型同軸ケーブルとから構成されていることを特徴とする。

【0038】同様に上記目的を達成するため、請求項7の発明は、請求項1～6記載の装置において、アモルファスSi系薄膜、微結晶Si系薄膜、及び多結晶Si系薄膜のうちいずれかを製膜する構成を有している。

【0039】同様に上記目的を達成するため、請求項8の発明は、請求項1～7の装置において、前記電極は方形な形状を有し、プラズマを利用して処理される前記基板は太陽電池用、または液晶ディスプレイ用、または大規模集積回路用の基板であるという構成を有している。

【0040】同様に上記目的を達成するため、請求項9の発明は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、この電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備し、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法において、前記電極の側面に電力供給箇所を設け、該電力供給箇所に前記電力供給系を用いて電力を供給するようにしたという構成を有している。

【0041】同様に上記目的を達成するために、請求項10の発明は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、互いに独立した高周波電力を発生する少なくとも2台の第1及び第2の超高周波電源を有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備した表面処理装置を用いて、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法であり、前記電極の形状を方形とし、前記電極の一つの側面である第1の側面に第1の複数の電力供給端を等ピッチ間隔で取り付け、前記第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に第2の複数の電力供給端を等ピッチ間隔で取り付け、前記第1の超高周波電源の出力回路と前記第1の複数の電力供給端を1つずつ同軸ケーブルで接続し、かつ、前記第2の超高周波電源の出力回路と上記第2の複数の電力供給端を1つずつ同軸ケーブルで接続するようにした構成となっている。

【0042】同様に上記目的を達成するため、請求項1の発明は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源を有し、前記

の電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備した表面処理装置を用いて、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法であり、前記電極の形状を方形とし、前記電極の一つの側面である第1の側面に、等ピッチ間隔に第1の複数の電力供給端を取り付け、上記第1の側面に対向する他方の側面である第2の側面に等ピッチ間隔に第2の複数の電力供給端を取り付け、上記超高周波電源の第1の出力回路及び第2の出力回路をそれぞれ上記第1及び第2の複数の電力供給端に1つずつ同軸ケーブルで接続するようにした構成となっている。

【0043】同様に上記目的を達成するため、請求項12の発明は、請求項9～11において、高周波電源として10MHz乃至300MHzを発振し所要の電力を供給する超高周波電源を用い、少なくとも1台の整合器と複数の同軸ケーブルを用いて前記超高周波電源の10MHz乃至300MHzの出力電力を電力供給箇所に供給するようしている。

【0044】同様に上記目的を達成するため、請求項13の発明は、請求項9～12において、放電ガスとして、少なくともモノシランガスを用いてアモルファスSi系薄膜、微結晶Si系薄膜及び多結晶Si系薄膜のいずれかを製膜するようにしている。

【0045】同様に上記目的を達成するため、請求項14の発明は、請求項9～13において、放電ガスとして、少なくともモノシランガスを用いてアモルファスSi系薄膜、微結晶Si系薄膜及び多結晶Si系薄膜のいずれかを製膜するようにしている。

【0046】同様に上記目的を達成するため、請求項15の発明は、内部に基板がセットされる、排気系を備えた真空容器と、真空容器内に放電用ガスを導入する放電用ガス導入系と、真空容器内の所定の位置に配置された電極と、2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源を有し、前記電極に高周波電力を供給して放電用ガスを放電させてプラズマを生成する電力供給系とを具備した表面処理装置を用いて、生成したプラズマを利用して基板の表面を処理する表面処理方法であり、前記電極の形状を方形とし、前記電極の4つの側面のうち一つの側面である第1の側面と、該第1の側面に対向する第2の側面に前記電力供給系に接続される電力供給箇所を夫々に複数個設置し、前記第1の側面及び第2の側面に設置された電力供給箇所に夫々前記高周波電源の第1の出力と第2の出力を接続し、位相が互いに時々刻々と変化する2つの電力を供給するようにした構成となっている。

【0047】【発明の実施の形態】本発明者らは、一对の平行平板電極の非接地電極に電力を供給するための電力供給箇所を該電極の側面に、即ち該非接地電極のプラズマ生成空間に接する前面（下面）とその裏側の後面（上面）の境界

に設置し、前記電力を供給する方法を創出した。それを実証する為に、一対の平行平板電極として方形形状の電極を用い、プラズマ生成の実験及びモノシリコンガスを用いたアモルファスシリコン製膜実験を行った。その結果、従来技術では成功例が無かったVHF帯(30MHz～300MHz)での1m×1m級基板対応可能な大面積プラズマで、均一な空間分布をもつプラズマを生成できた。また、従来技術では成功例が無かった1m×1mの面積のガラス基板に膜厚分布±5～20%のアモルファスシリコン膜を形成できた。

【0048】上記新しいアイデアにより従来の課題を解決できた理由は次のように考えられる。従来技術では、高周波電源より出力された高周波電流は、図13

(A), (B)に示すように、電力供給箇所9より非接地電極2の後面の表面から側面の表面を通り、前面の表面へ流れている。しかし、上記新しい方法では図15に示すように、非接地電極の側面のプラズマ生成空間に近い表面の位置より前面の中央部の表面へ伝播していく電流の流れ分布が実現されていると考えられる。従って、従来技術でのプラズマ空間の電位分布は図14に示されるようなものであったが、上記新しい方法では図16に示されるようにほぼ均一な電位分布が得られたものと考えられる。

【0049】上記の新しい方法を実現するために、高周波電源より供給される高周波電力を非接地電極に供給するための給電線として、従来は芯線が1本で構成される同軸ケーブルが用いられていたが、本発明者らは図7に示すように、燃り線の芯線36の外側に絶縁物37を介して外部導体38を形成した構成の燃り線型同軸ケーブルを創出した。そして、燃り線型の芯線をもつ同軸ケーブル以外ではインピーダンスが大きく、ジュール熱が発生し電力供給に無理があるという新しい知見を得た。即ち、同軸ケーブルの芯線が1本の場合、真空容器の中の該同軸ケーブルはジュール熱により400°C以上の高温になる(断線することもある)が、芯線の本数を4本以上に増やすと、該同軸ケーブルの温度は約100°C以下となった。

【0050】また、上記の新しい方法を実現するためには、上記同軸ケーブルと上記非接地電極の電気的接続方法として、図5及び図6に示すような新しい手段を考案した。これらの構成の詳細は、後述する【実施例】の欄で説明する。

【0051】すなわち、図5及び図6において、芯線36、絶縁物37、外部導体38より構成される燃り線型同軸ケーブル67aと非接地電極52の接続方法として、該非接地電極52に固着されている金属製筒体73a及び金属製ボルト74などを用いて該金属製筒体73aの内壁75に該燃り線型同軸ケーブルの芯線36を圧接させ、電力供給箇所を形成している。

【0052】更に、本発明者らは、基板の大型化特に1

m×1m乃至2m×2mの超大型化に対応するために、図3及び図4に示すように、一対の平行平板電極を構成する方形形状の非接地電極の一つの側面即ち第1の側面に、実質的に等ピッチ間隔に複数の第1の電力供給箇所を設置し、上記側面に平行で対向する他方の側面に、実質的に等ピッチ間隔に複数の第2の電力供給箇所を設置し、かつ、互いに独立な関係にある2つの高周波電源即ち第1及び第2の高周波電源を設置し、上記第1の電力供給箇所に上記第1の高周波電源よりVHF級(30MHz～300MHz)の周波数例えれば70MHzの電力を供給し、上記第2の電力供給箇所に上記第2の高周波電源より該第1の高周波電源とほぼ同じ周波数例えれば60MHz～80MHzの電力を供給し、前述した一対の平行平板電極の間にプラズマを生成する新しい方法を創出した。

【0053】上記新しい方法を実証するために、放電用ガスとしてモノシリコンガス(SiH<sub>4</sub>)を用い、1m×1mのガラス基板にアモルファスシリコン膜を形成する実験を行った。その結果、前記第1の高周波電源と前記第1の電力供給箇所等を用いた場合、図12(A)に示すような膜厚分布、即ち第1の電力供給箇所に近い側の膜厚が厚く、上記非接地電極の横方向(図4のX軸方向)にいくに従って膜厚が薄くなるという知見を得た。また、前記第2の高周波電源と前記第2の電力供給箇所等を用いた場合、図12(B)に示すような膜厚分布、即ち第2の電力供給箇所に近い側の膜厚が厚く、上記非接地電極の横方向にいくに従って膜厚が薄くなるという知見を得た。

【0054】そして、前記第1及び第2の電力供給箇所に、夫々前記第1及び第2の高周波電源から独立に電力を供給し、上記1m×1mのガラス基板にアモルファスシリコンを製膜すると、図12(A), (B)が合成された形、即ち図12(C)に示すように均一性のある良好膜厚分布が得られるという知見を得た。この均一性良好な膜厚分布が形成される理由は、第1及び第2の高周波電源が互いに独立の関係にある電力を上記第1及び第2の電力供給箇所へ供給するので、電波の干渉現象あるいは定在波が発生せず、結果的に時間的な平均値としては図17に示されるように、プラズマ空間の電位分布がほぼ均一に保たれると考えられる。

【0055】なお、上記第1及び第2の高周波電源が独立でない場合、例えば1台の高周波電源より、上記第1及び第2の電力供給箇所へ電力を供給して、1m×1mのガラス基板にアモルファスシリコンを製膜すると、図12(C)に示すように均一でなく、著しく悪い膜厚分布になるという知見も得た。その理由は、互いに異なる二方向より高周波電力が供給されるので、前記電極で発生する電界が互いに干渉を起こすこと、あるいは定在波が発生すること及び上記二方向より伝播してきた電力は互いに相手方の電力供給線を介して、反射波として高周

波電源を構成する発振器にフィードバックされ、該発振器の機能が著しく低下することも考えられる。

【0056】また、前記電極の形状を方形とし、該方形電極の4つの側面のうちの一つの側面即ち第1の側面及び該第1の側面に平行で対向する側面即ち第2の側面に、前記電力供給系に接続される電力供給箇所を、夫々に複数個設置し、該高周波電源に2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源を用い、前記第1の側面及び第2の側面に設置された電力供給箇所に、夫々上記2出力でかつ該2出力の高周波電力の位相の差を時間的に鋸歯状に変化させる高周波電源の第1の出力と第2の出力を接続し、位相が互いに時々刻々と変化する2つの電力を供給するようにした。

【0057】その結果、図18(A)、(B)に示すように、第1及び第2の電力供給箇所より供給された2つの電力は互いにぶつかり合う方向へ伝播し、定在波を作ること無しに時間的平均値としてはほぼ一様な空間分布をもつようになる。なお、図18(A)は、位相差が互いに時々変化する場合において、2出力位相可変高周波発振器42を、第1の高周波増幅器43a、第2の高周波増幅器43bを夫々介して非接地電極39の第1の電力供給箇所40a、第2の電力供給箇所40bに夫々させる場合の全体図を示す。また、図18(B)は、合成電圧の2乗と電力供給箇所間の距離との関係を示す特性図である。

【0058】但し、上記2出力の高周波電力の位相差を例えば $0^\circ$ に固定すると、図19(A)、(B)に示すように、干渉し合って定在波が形成される。ここで、図19(A)は、位相差が $0^\circ$ において、2出力位相可変高周波発振器42を、第1の高周波増幅器43a、第2の高周波増幅器43bを夫々介して非接地電極39の第1の電力供給箇所40a、第2の電力供給箇所40bに夫々させる場合の全体図を示す。なお、図19(A)において、波形(イ)は第1の電力の電圧W1(定在波)を示し、波形(ロ)は第2の電力の電圧W2(定在波)を示す。また、図19(B)は、合成電圧の2乗と電力供給箇所間の距離との関係を示す特性図である。

#### 【0059】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。なお、以下の説明では、表面処理装置及び表面処理方法の一例として、太陽電池を製作する際に必要なアモルファスシリコン(a-Si)薄膜を製作する装置及び方法が想定されている。但し、当然ながら、本願の発明の対象が上記具体例の装置及び方法に限定されるものではない。

【0060】(実施例1) 図1～図8を参照しながら実施例1の装置及び方法について説明する。先ず、装置の構成を説明する。図中の付番51は真空容器を示す。この真空容器51内には、グロー放電、グロー放電プラズ

10

20

30

40

50

マを発生させるための一対の電極、即ち非接地電極52と基板ヒータ53を内蔵した接地電極54が配置されている。前記非接地電極52は、絶縁物55a、55b、55cを介して真空容器51の上部に取り付けられている。前記非接地電極52の下部側即ちプラズマが生成される空間56に接する下部側の下面Aには、直径0.5mm程度の多数のガス吹出し孔57が孔間隔1.0～1.5mmで形成されている。前記非接地電極52の上部側の上面Bには、放電用ガス導入管58を介してポンベ(図示せず)が取り付けられている。このポンベから真空容器51内に例えばモノシリコン(SiH<sub>4</sub>)が供給される。

【0061】前記真空容器51には、第1の排気管59aを介して第1の真空ポンプ40aが接続されるとともに、第2の排気管59bを介して第2の真空ポンプ40bが接続されている。真空容器51内のガスは、前記排気管59a、59bを通して前記真空ポンプ40a、40bにより排出される。基板61は前記接地電極54上に設置され、基板ヒータ53及び該基板ヒータ53に接続された基板ヒータ電源62により所定の温度に加熱される。前記接地電極54は支持体63に固定されている。前記基板61の高さに相当する真空容器51の側壁には、基板を出し入れするためのゲートバルブ64a、64bが設けられている。

【0062】前記非接地電極52の側面、即ち前記空間56に接する非接地電極52の下面Aの周辺部から僅かにはなれた位置の一方の側面(第1の側面)には、図1、図4に示すように、複数個の電力供給箇所65a、65b、65c、65d、65e、65f、65g、65hが位置している。また、前記第1の側面と平行に対向する非接地電極52の第2の側面には、図1及び図4に示すように、複数個の電力供給箇所65i、65j、65k、65l、65m、65n、65o、65pが位置している。前記真空容器51の壁面には、図1ないし図3に示すように、複数個の電流導入端子66a、66b、66c、66d、66e、66f、66g、66hからなる群と、複数個の電流導入端子66i、66j、66k、66l、66m、66n、66o、66pからなる群が夫々対向して設けられている。

【0063】前記非接地電極52の電力供給箇所65a～65pには、複数個の燃り線型同軸ケーブル67a、67b、67c、67d、67e、67f、67f、67g、67h、67i、67j、67k、67l、67m、67n、67o、67pが夫々接続されている。前記燃り線型同軸ケーブル67a～67hは、前記電流導入端子66a～66h、同軸ケーブル68a～68hを夫々介して第1の電力分配器69a、第1の整合器70a、第1の高周波電源71aに順次電気的に接続されている。また、前記燃り線型同軸ケーブル67i～67pは、前記電流導入端子66i～66p、同軸ケーブル6

8 i ~ 6 8 p を夫々介して第2の電力分配器 6 9 b、第2の整合器 7 0 b、第2の高周波電源 7 1 b に順次電気的に接続されている。

【0064】前記燃り線型同軸ケーブル 6 7 a ~ 6 7 h は、夫々、図7に示すように複数の線材からなる燃り線（芯線）3 6 の外側に絶縁物 3 7 を介して外部導体 3 8 を形成した構成となっている。2つの燃り線型同軸ケーブル 6 7 a、6 7 b を例にとれば、該ケーブル 6 7 a、6 7 b と非接地電極 5 2 とは、図5及び図6に示すように接続されている。

【0065】ケーブル 6 7 a に注目してみると、該ケーブル 6 7 a と非接地電極 5 2 の側面を電気的に接続するために、絶縁物 7 2 をはさんで、該側面に固着されている金属製筒体 7 3 a 及び金属製ボルト 7 4 を用いて、該金属製筒体 7 3 a の内壁 7 5 に燃り線型同軸ケーブル 6 7 a の燃り線 3 6 を圧接させ、電力供給箇所 6 5 a を形成している。前記燃り線 3 6 より非接地電極 5 2 への高周波電流の経路は、金属製筒体 7 3 a の内壁 7 5 より、前記筒体 7 3 a のネジ部 7 6 及び前記筒体 7 3 a を固着する非接地電極 5 2 に設けられているネジ部 7 7 から構成される。なお、図5中の付番 7 8 はボルト、図6中の付番 7 9 は金属製筒体 7 3 a に形成されたネジ部、付番 7 4 a はボルト 7 4 のネジ部を示す。

【0066】図6では、燃り線型同軸ケーブル 6 7 a と非接地電極 5 2 の側面との電気的接続の場合について述べたが、他の燃り線型同軸ケーブル 6 7 b ~ 6 7 p と非接地電極 5 2 の側面を電気的に接続する場合も同様である。また、これらのケーブル 6 7 b ~ 6 7 p の非接地電極 5 2 との接続箇所にも、金属製筒体 7 3 b ~ 7 3 p が夫々設けられている。

【0067】なお、上記第1及び第2の電力分配器 6 9 a、6 9 b は、L、C 及び抵抗などを組合せた回路により電力分配することもできるが、本実施例では簡単で、かつ、安価に製作できる図8に示す電力分配器、即ち、第1及び第2の高周波電源 7 1 a、7 1 b にそれぞれ接続された第1及び第2の整合器 7 0 a、7 0 b の出力に、それぞれ、同軸ケーブルと同軸ケーブル用T型コネクタ 8 1 a、8 1 b、8 2 a、8 2 b、8 2 c、8 2 d、8 3 a ~ 8 3 h を用いて、16本の同軸ケーブル 6 8 aないし 6 8 p に分配する分配器を用いた。

【0068】次に、上記図1乃至図7に示した構成の表面処理装置を用いて、アモルファスシリコン (a-Si

i) 太陽電池用 a-Si 膜を製膜する方法について説明する。

【0069】まず、真空容器 5 1 内の圧力を大気に保持し、第1及び第2の基板出入用ゲートバルブ 6 4 a、6 4 b を閉にして、図示していない基板搬入・搬出系を用い、基板 6 1 例えば厚さ 0.3 cm、100 cm × 100 cm のガラス基板を接地電極 5 4 に設置する。そして、上記第1及び第2の基板出入用ゲートバルブ 6 4 a、6 4 b を閉じ、第1及び第2の真空ポンプ 4 0 a、4 0 b を稼動させて、第1及び第2の排気管 5 9 a、5 9 b を介して上記真空容器 5 1 内の大気を排出し、その圧力が約  $1 \times 10^{-7}$  Torr に到達した後、次の放電ガスの導入を行う。

【0070】次に、放電用ガス導入管 5 8 より、ガス吹出し孔 5 7 を介して放電用ガス、例えば SiH<sub>4</sub> ガスを 2,000 ~ 3,000 sccm 程度の流量で供給し、圧力を 0.05 ~ 0.5 Torr に保持する。また、上記基板 6 1 の温度を予めデータとして取得されている上記基板 6 1 の表面温度と基板ヒータ用電源の出力（電力）の関係を用いて、80°C ~ 350°C の範囲で例えば 180°C に保持する。つづいて、第1及び第2の高周波電源 7 1 a、7 1 b の周波数を 10 MHz ~ 300 MHz、例えば第1の高周波電源 7 1 a 及び第2の高周波電源 7 1 b の出力の周波数を 60 MHz 及び 65 MHz、出力電力を両者ともに 3 kW 乃至 5 kW で供給する。

【0071】そうすると、上記一対の非接地電極 5 2、接地電極 5 4 間に SiH<sub>4</sub> のグロー放電プラズマが生成する。その結果、上記プラズマの中には存在する SiH<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>、SiH、Si 等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板 6 1 の表面に吸着・堆積されることにより、a-Si 膜が形成される。

【0072】なお、上記の例では、一対の非接地電極 5 2、接地電極 5 4 のサイズは夫々 1200 mm × 1200 mm × 100 mm、材質は夫々ステンレス鋼で、その間隔は 50 mm であった。

【0073】上記実施例1の製膜試験結果の一例を下記表2に示す。なお、基板サイズは × 1000 mm × 1000 mm、基板温度 180°C、膜厚分布は基板対角線上での 20 点の位置での膜厚をダブルモノクロメータ法及びエリプソメトリ法で測定し、評価した。

【0074】

【表2】

表 2

高周波電源の周波数		製膜速度 (nm/sec)	膜厚分布 (%)
第1の高周波電源 (MHz)	第2の高周波電源 (MHz)		
14	16	0.4~0.6	±5~10
30	33	1.0~1.2	±5~10
60	65	1.2~1.4	±5~20
80	90	1.4~1.6	±5~20

【0075】本実施例1では、2台の独立の高周波電源の周波数すなわち、第1及び第2の高周波電源71a、71bの周波数は、それぞれ、14MHzと16MHzとした場合（平均値15MHz）、30MHzと33MHzとした場合（平均値31.5MHz）、60MHzと65MHzとした場合（平均値62.5MHz）、80MHzと90MHzとした場合（平均値85MHz）であった。しかし、第1及び第2の高周波電源71a、71b、第1及び第2の整合器70a、70b、第1及び第2の電力分配器69a、69b、同軸ケーブル68a~68p、電流導入端子66a~66p、撚り線型同軸ケーブル67a~67p等は、90MHz~300MHzにも十分に応用可能であるから、a-Si製膜も90MHz~300MHzの周波数で十分に応用可能であると云える。

【0076】さて、上記データ即ち表2は、図19(B)に示されるように従来例では困難視されていた1m×1mという超大面积基板を対象に、電源周波数15MHz級、31.5MHz級、62.5MHz級、85MHz級とともに著しく良好な結果が得られるということを示している。

【0077】また、表面処理装置の構成も、方法論としても、本願発明の実施例1がa-Si製膜での大面积化技術及び電源周波数の高周波数化技術として極めて有効であることを示している。

【0078】なお、上記実施例1における製膜条件として、放電ガスの混合比例例えばSiH<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>の流量比、圧力、基板温度、及びプラズマ発生電力等を適正化することで、a-Siのみならず、微結晶Si及び多結晶Siを製膜できることは公知である。

【0079】また、放電用ガスとして、SiH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>等を用いればSi<sub>x</sub>N<sub>y</sub>膜を製膜できること、エッチング作用をもつガス、例えばSF<sub>6</sub>、SiC<sub>14</sub>、CF<sub>4</sub>及びNF<sub>3</sub>等エッチングガスを用いれば基板の表面に所定のエッチング処理が行なえることも公知である。

【0080】(実施例2) 次に、図9、図10及び図11を参照しながら、実施例2の装置及び方法について説

20

明する。先ず、装置の構成について説明する。但し、図1~図8と同部材は同付番を付して説明を省略する。

【0081】図9に示す表面処理装置の構成は、図1の第1及び第2の高周波電源71a、71bに代えて、2出力で周波数10MHz~300MHzの正弦波信号を発振し、かつ該2出力の信号の位相を0°から360°まで時々刻々と変化させられるファンクションジェネレータとフェーズシフタと高周波発振器より構成される2出力位相可変発振器81、第1及び第2の高周波信号伝送ケーブル82a、82b、第1及び第2の高周波電力増幅器83a、83bを用いるもので、その他の装置構成要素はすべて同様である。それ故、上記以外の装置構成要素については、図1を参照することにし、ここでは省略する。

30

【0082】次に、上記図9に示した構成の表面処理装置を用いて、アモルファスシリコン(a-Si)太陽電池用a-Si膜を製膜する方法について説明する。まず、真空容器51内の圧力を大気に保ち、第1及び第2の基板出入用ゲートバルブ64a、64bを開にして、図示していない基板搬入・搬出系を用い、基板61例えば厚さ0.3cm、100cm×100cmのガラス基板を接地電極54に設置する。つづいて、上記第1及び第2の基板出入用ゲートバルブ64a、64bを開にして、第1及び第2の真空ポンプ60a、60bを稼動させて、第1及び第2の排気管59a、59bを介して上記真空容器51内の大気を排出し、その圧力が約1×10<sup>-7</sup>Torrに到達した後、次の放電用ガスの導入を行う。

40

【0083】次に、放電用ガス導入管58より、ガス吹出し孔57を介して放電用ガス、例えばSiH<sub>4</sub>ガスを2000~3000sccm程度の流量で供給し、圧力を0.05~0.5Torrに保持する。ここで、上記基板61の温度を予めデータとして取得されている上記基板61の表面温度と基板ヒータ用電源の出力(電力)の関係を用いて、80°C~350°Cの範囲で例えば180°Cに保持する。つづいて、2出力位相可変発振器81の第1の出力を第1の高周波信号ケーブル82aより第2の高周波電力増幅器83aへ伝送し、該2出力位相可

50

変発振器81の第2の出力を第2の高周波信号ケーブル82bより第2の高周波電力増幅器83bへ伝送させる。

【0084】この場合、上記2出力位相可変発振器81の第1及び第2の出力の位相は、図10(A), (B)に位相 $\theta$ として示されている2つの正弦波信号間の位相差 $\theta$ を、例えば $\theta=0$ （固定）、あるいは図11(A), (B)に示すように $\pm 45^\circ$ 及び $\pm 90^\circ$ の範囲で鋸歯状波で時々刻々と変化するように、例えば一周期数秒から数100分の1秒の間で変化させる。なお、図10(A)の縦軸は2出力位相可変発信器81の第1の出力電圧を示し、図10(B)の縦軸は2出力位相可変発信器81の第1の出力電圧を示す。

【0085】そして、上記2出力位相可変発振器81の出力周波数は10MHz～300MHzで、例えば60MHzとする。その電力は3kW乃至5kWで供給する。そうすると、一对の非接地電極52、接地電極54\*

\*間にSiH<sub>4</sub>グロー放電プラズマが生成する。その結果、上記プラズマの中に存在するSiH<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>, SiH, Si等のラジカルが拡散現象により拡散し、基板61の表面に吸着・堆積されることにより、a-Si膜が形成される。

【0086】上記の例では、一对の非接地電極52、接地電極54のサイズは夫々1200mm×1200mm×100mm、材質は夫々ステンレス鋼で、その間隔は50mmであった。

【0087】上記実施例2の製膜試験結果の一例を下記表3に示す。なお、基板サイズは、1000mm×100mm、基板温度180°C、膜厚分布は基板対角線上での20点の位置での膜厚をダブルモノクロメータ法及びエリプソメトリ法で測定し、評価した。

【0088】

【表3】

表 3

・高周波電源の周波数 60MHz ・2出力位相可変高周波発振器 の出力信号の位相差 $\theta$	製膜速度 (nm/sec)	膜厚分布 (%)
$\theta=0^\circ$ （固定）	0.8～1.0	$\pm 40\sim 80$
$\theta=\pm 45^\circ$ で、1周期100分 の1秒の鋸歯状波で時間的に変 化	1.2～1.4	$\pm 20\sim 30$
$\theta=\pm 90^\circ$ で、1周期100分 の1秒の鋸歯状波で時間的に変 化	1.2～1.4	$\pm 10\sim 20$

【0089】上記表3のデータは、 $\theta=0^\circ$ （固定）では一对の電極間に定在波が発生し、膜厚分布は著しく悪いが、 $\theta=\pm 180^\circ$ ,  $\theta=\pm 360^\circ$ では定在波が発生せず、特に $\theta=\pm 360^\circ$ 条件で、膜厚分布が良好であることを示している。

【0090】本実施例2では、2出力位相可変発振器81の出力周波数は60MHz、2つの出力信号の位相差 $\theta$ を $\theta=0^\circ$ に固定した場合、 $\theta=\pm 180^\circ$ で、1周期100分の1秒の鋸歯状波で時間的に変化させた場合、及び $\theta=\pm 360^\circ$ で、1周期100分の1秒の鋸歯状波で時間的に変化させた場合であったが、第1及び第2の高周波電力増幅器83a, 83b、第1及び第2の整合器70a, 70b、第1及び第2の電力分配器69a, 69b、同軸ケーブル68a～68p、電流導入端子66a～66p、撲り線型同軸ケーブル67a～67p等は60MHz～300MHzにも十分に応用可能

であるから、a-Si製膜も60MHz～300MHzの周波数で十分に応用可能であると云える。

【0091】さて、上記データ即ち表3は、図19(B)に示されるように従来例では困難視されていた1m×1mという超大面積基板を対象に、電源周波数60MHzにおいて著しく良好な結果が得られるということを示している。

【0092】また、表面処理装置の構成も、方法論としても、本願発明の実施例2がa-Si製膜での大面積化技術及び電源周波数の高周波数化技術として極めて有効であることを示している。

【0093】なお、上記実施例2における製膜条件として放電ガスの混合比例例えばSiH<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>の流量比、圧力、基板温度、及びプラズマ発生電力等を適正化することで、a-Siのみならず、微結晶Si及び多結晶Siを製膜できることは公知である。

【0094】また、放電用ガスとして、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{N}_2$ 等を用いれば $\text{SiNx}$ 膜を製膜できること、エッティング作用をもつガス、例えば $\text{SF}_6$ 、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{CF}_4$ 及び $\text{NF}_3$ 等エッティングガスを用いれば基板の表面に所定のエッティング処理が行なえることも公知である。

#### 【0095】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1の表面処理装置によれば、電力供給箇所が電極の側面に設置されるので、従来困難視されていたVHF帯(30MHz～300MHz)の電源を用いる高密度プラズマの空間分布の均一化が可能となり、基板に対する均一な表面処理、即ち製膜速度及びエッティング速度の向上と均一性向上が可能となった。この効果は、LSI、LCD、複写機用感光体の産業のみならず、太陽電池業界での生産性向上に関する貢献度は著しく大きい。

【0096】請求項2の表面処理装置によれば、電力供給箇所が電極の側面に複数設定されるので、従来困難視されていた1m×1m級の超大面積基板を対象に13.56MHz級及びVHF帯(30MHz～300MHz)の電源を用いる高密度プラズマの空間分布の均一化が可能となり、超大面積基板に対する均一な表面処理するわち製膜速度及びエッティング速度の向上と均一性向上が可能となった。この効果は、特に太陽電池及びLCD業界での生産性向上にもとづく、製品コストの低減への貢献度は極めて大きいものがある。

【0097】請求項3の表面処理装置によれば、方形形状の非接地電極の対向する2つの側面に設けられた複数の電力供給箇所に、位相が互いに時々刻々に変化する高周波電力を供給するので、一対の電極内に生成されるプラズマの空間的分布は、時間的空間的に平均化され均一化されることが可能となった。このことは、上記請求項2と同様に、1m×1m級以上の超大面積基板に対する均一な表面処理を可能とするもので、特に、太陽電池及びLCD業界での生産性向上にもとづく、製品コストの低減への貢献度は著しく大きい。

【0098】請求項4は、上記請求項1～3を実現する確実な手段として、その価値は高い。

【0099】請求項5は、請求項1～4に係る装置の応用範囲の拡大、即ち製膜速度とエッティング速度の向上を図り、かつ、基板の大面積化を実現したもので、実用価値は著しく大きい。

【0100】請求項6は、上記請求項1～5の効果に加えて、複数の高周波電源と複数の整合器と複数の電力分配器と複数の同軸ケーブル一つにまとめられているので、電力供給系の構成が簡素で、かつ、コスト的に著しく安価になるという効果がある。

【0101】請求項7は、LCD、複写機用感光体、太陽電池、LSI等薄膜半導体の応用製品の生産性向上及び品質・性能向上が図られるという効果が生じるのでコ

10

20

30

30

40

40

50

ストパフォーマンスが著しく増大する。

【0102】請求項8は、製品サイズが大きい程製品価値が増大するいわゆる大面積画面化を、LCD、複写機用感光体及び太陽電池等の応用製品を創出できるという効果を創出し、斯界での価値は極めて大きい。

【0103】請求項9～15の表面処理方法によれば、従来法で電極の後面即ちプラズマを生成する空間より最も遠い面に設置されていた電力供給箇所をプラズマ生成空間に最も近い側面に設置することにより、従来困難視されていたVHF帯(30MHz～300MHz)の電源を用いる高密度プラズマの空間分布の均一化が可能となり、基板に対する均一な表面処理即ち製膜速度及びエッティング速度の向上と均一性向上が可能となった。

【0104】また、従来困難視されていた1m×1m級の超大面積基板を対象に13.56MHz級及びVHF帯(30MHz～300MHz)の電源を用いる高密度プラズマの空間分布の均一化が可能となり、超大面積基板に対する均一な表面処理即ち製膜速度及びエッティング速度の向上と均一性向上が可能となった。

【0105】更に、高周波(HF帯)及びVHF帯(30MHz～300MHz)の周波数を使用するプラズマ現象即ち高密度プラズマ化のメリットを得て、かつ均一な表面処理を行う方法を実現可能となった。

【0106】以上の効果は、特に太陽電池、LCD業界での生産性向上にもとづく生産性向上に関する貢献度は極めて大きいものがある。また、LSI、複写機用感光体等の分野でも生産性向上についての貢献度は著しく大きい。

【0107】また、LCD、複写機用感光体、太陽電池、LSI等薄膜半導体の応用製品の生産性向上及び品質・性能向上が図られるという効果が生じるのでコストパフォーマンスが著しく増大する。

【0108】そして、製品のサイズが大きい程製品価値が増大するいわゆる大面積画面化の方法を、LCD、複写機用感光体及び太陽電池などの応用製品製造に提供できるので新製品の創出という効果が生じる。それ故、斯界での工業的価値は極めて大きい。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1に係る表面処理装置の全体を示す概略図。

【図2】図1の表面処理装置における真空容器周辺の同軸ケーブルと電流導入端子等との接続状況を示す説明図。

【図3】図1の表面処理装置における非接地電極と燃り線型同軸ケーブル等との接続状況を示す説明図。

【図4】図1の表面処理装置の一構成である非接地電極及びこれと接続する燃り線型同軸ケーブル等の説明図。

【図5】図1の表面処理装置の一構成である第1、第2の燃り線型同軸ケーブルの芯線と非接地電極との接続状況の詳細を説明する為の一部切欠した斜視図。

【図6】図1の表面処理装置の一構成である第1の撚り線型同軸ケーブルの芯線と非接地電極との接続状況の詳細を説明する為の断面図。

【図7】図1の表面処理装置の一構成である第1の撚り線型同軸ケーブルの斜視図。

【図8】図1の表面処理装置の一構成である電力分配器の説明図。

【図9】本発明の実施例2に係る表面処理装置の全体を示す説明図。

【図10】図9の表面処理装置の一構成である2出力位相可変発振器において、位相差0における出力電圧と時間との関係を示す特性図。

【図11】図9の表面処理装置の一構成である2出力位相可変発振器において、位相差が刻々と変化する場合における出力電圧と時間との関係を示す特性図。

【図12】本発明の表面処理装置における、非晶質シリコンの膜厚（相対値）と非接地電極の横方向、縦方向における膜厚分布図。

【図13】従来の表面処理装置による高周波電源より出力された高周波電流の流れを説明する為の図。

【図14】従来の表面処理装置によるプラズマ空間の電位分布を示す説明図。

【図15】本発明の表面処理装置による高周波電源より出力された高周波電流の流れを説明する為の図。

【図16】本発明の表面処理装置によるプラズマ空間の電位分布を示す説明図。

【図17】本発明の別な表面処理装置による高周波電源より出力された高周波電流の流れを説明する為の図。

【図18】図9の表面処理装置において、2出力位相可変高周波発振器から位相が互いに時々刻々と変化する2つの電力を非接地電極に供給した場合の定在波の説明図

【図19】図9の表面処理装置において、2出力位相可変高周波発振器からの2出力の高周波電力の位相差を0°にした場合の定在波の説明図。

【図20】従来の表面処理装置による基板（面積：50cm×50cm級）の膜厚分布と電源周波数との関係を\*

\*示す特性図。

【図21】従来の表面処理装置による基板（面積：100cm×100cm級）の膜厚分布と電源周波数との関係を示す特性図。

【図22】従来の表面処理装置の説明図。

【図23】従来の他の表面処理装置の説明図。

【図24】図23の表面処理装置の一構成である電力分配器の説明図。

【図25】従来の更に他の表面処理装置の説明図。

【図26】図25の表面処理装置における非接地電極に形成される電力供給個所の説明図。

【符号の説明】

36…撚り線（芯線）、

37, 55a, 55b, 55c…絶縁物、

38…外部導体、

51…真空容器、

52…非接地電極、

53…基板ヒータ、

54…接地電極、

56…空間、

57…ガス吹出し孔、

58…放電用ガス導入管、

59a, 59b…排気管、

60a, 60b…真空ポンプ、

62…基板ヒータ用電源、

64a, 64b…ゲートバルブ、

65a～65p…電力供給箇所、

66a～66p…電流導入端子、

67a～67p…撚り線型同軸ケーブル、

68a～68p…同軸ケーブル、

69a, 69b…電力分配器、

70a, 70b…整合器、

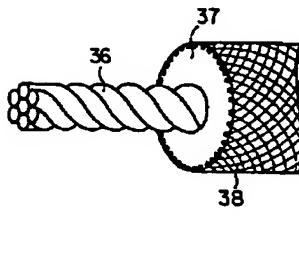
71a, 71b…高周波電源、

81…2出力位相可変発振器、

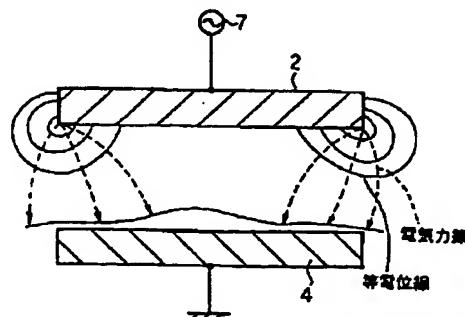
82a, 82b…高周波信号伝送ケーブル、

83a, 83b…高周波電力増幅器。

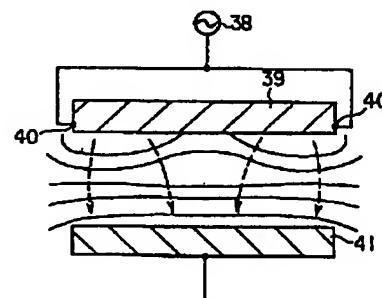
【図7】



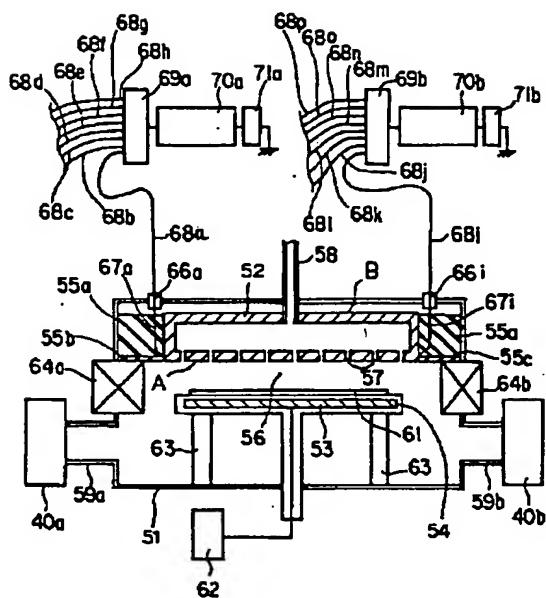
【図14】



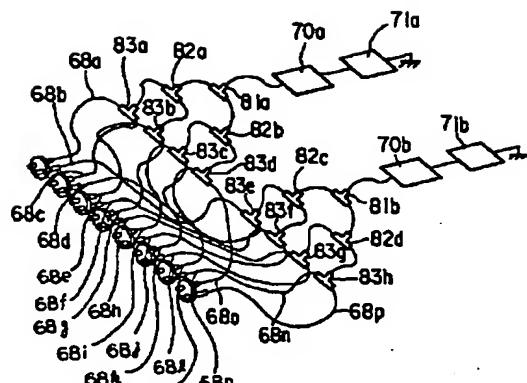
【図16】



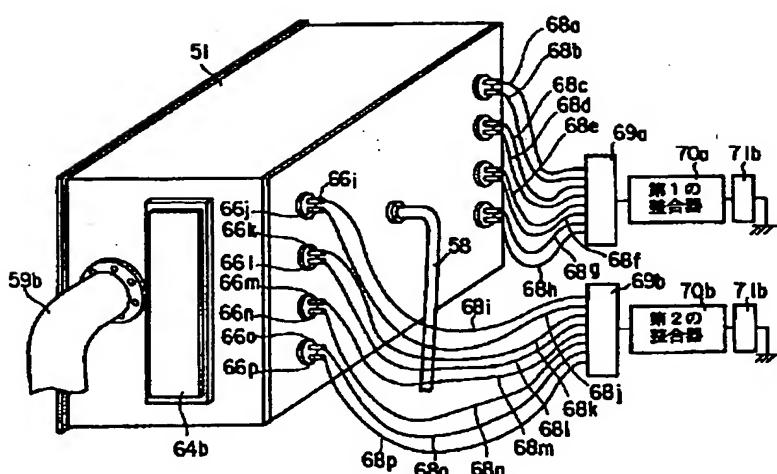
【図1】



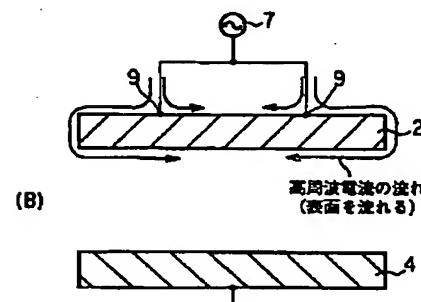
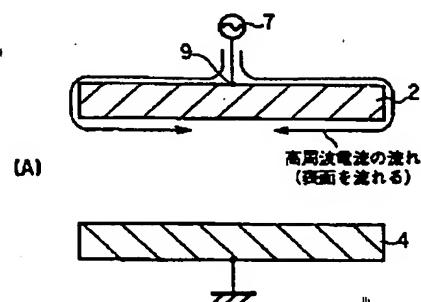
【図8】



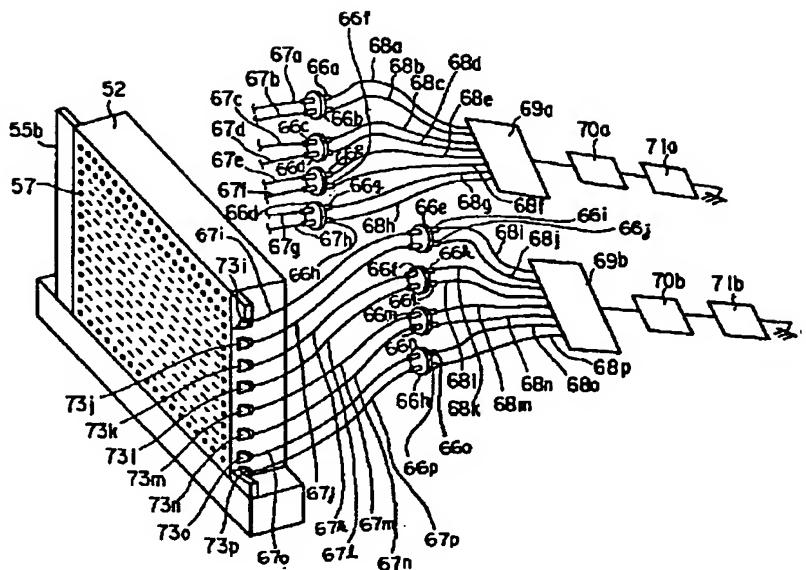
【図2】



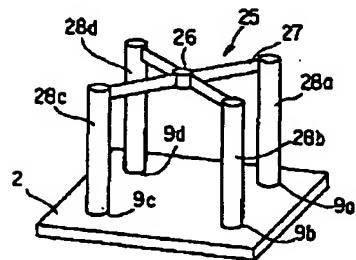
【図13】



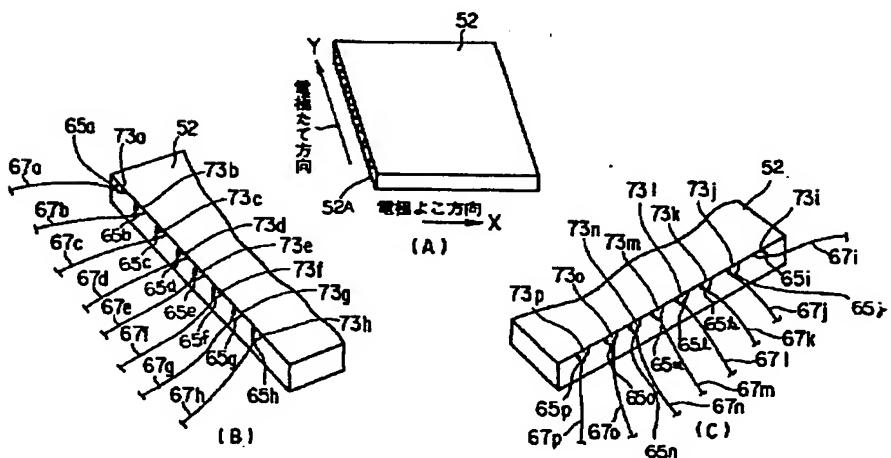
〔图3〕



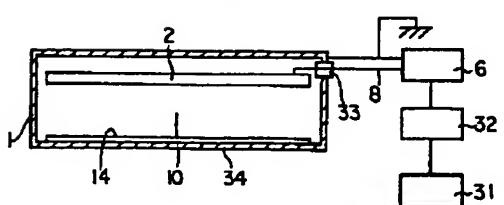
〔図24〕



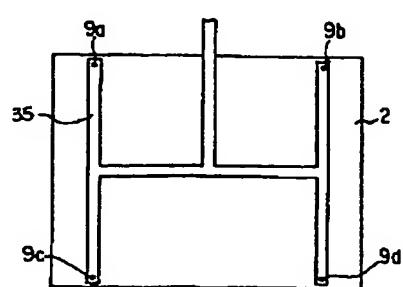
[図4]



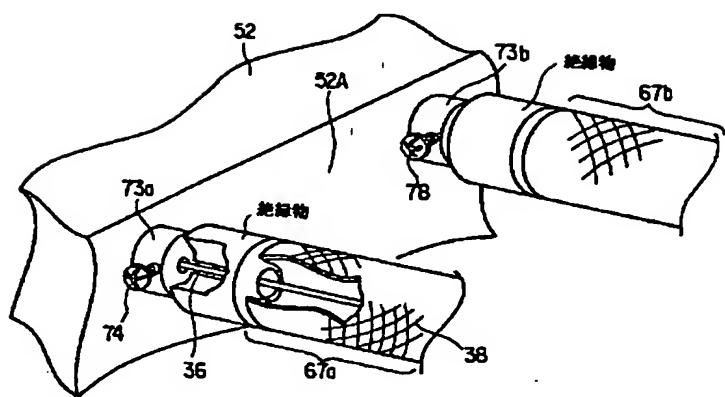
〔図25〕



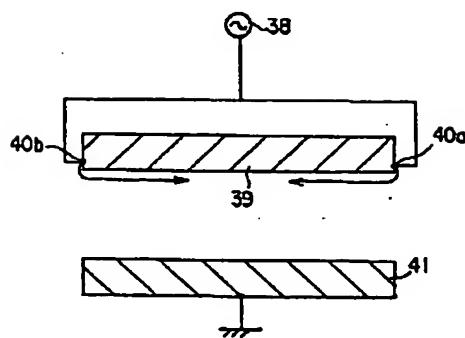
〔图26〕



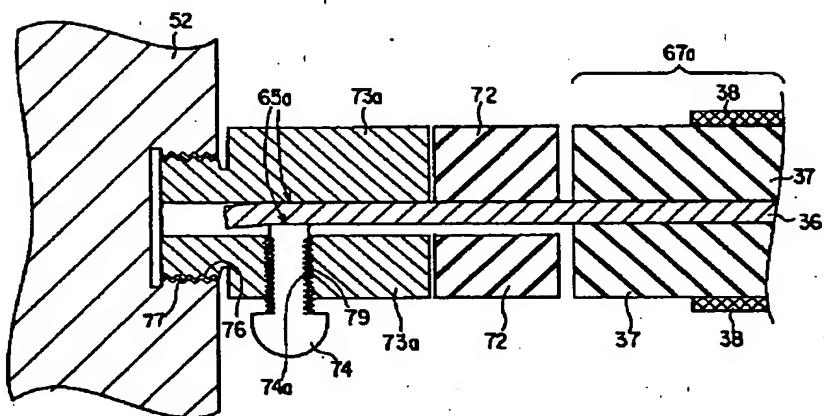
【図5】



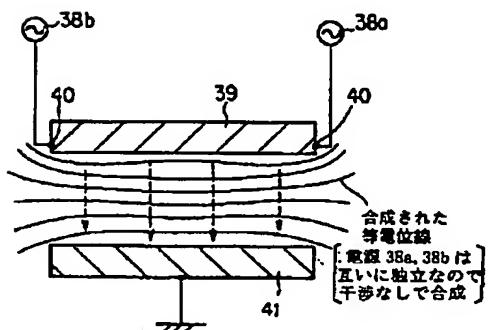
【図15】



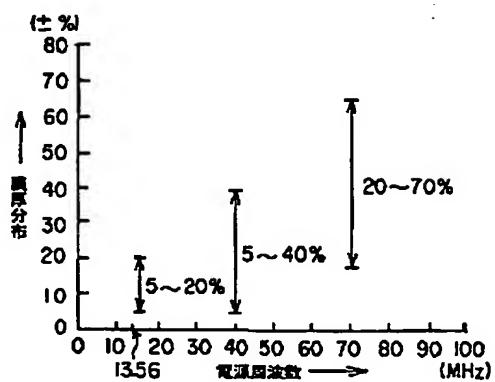
【図6】



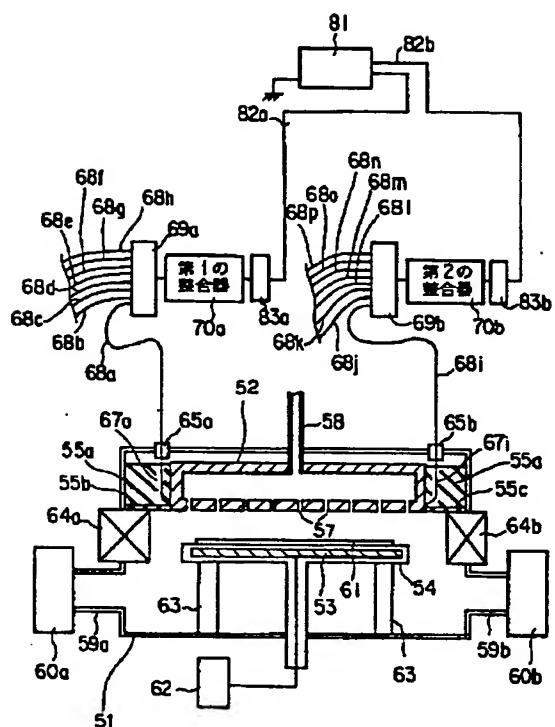
【図17】



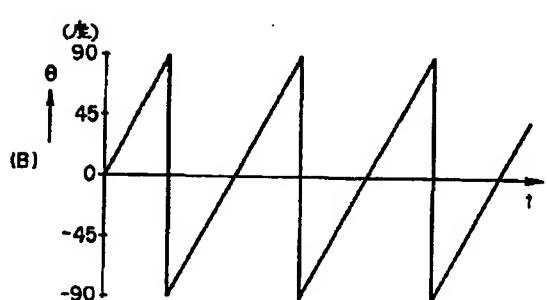
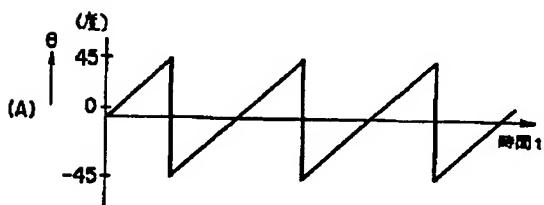
【図20】



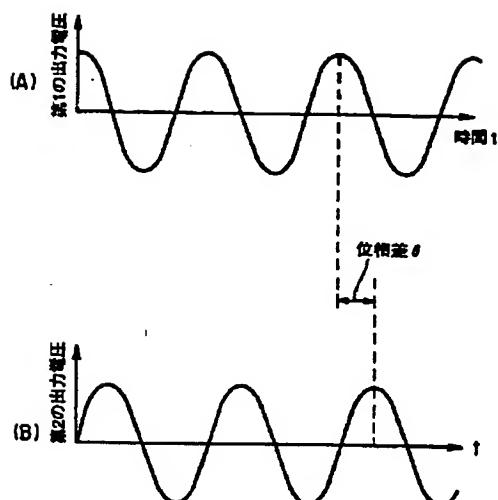
【図9】



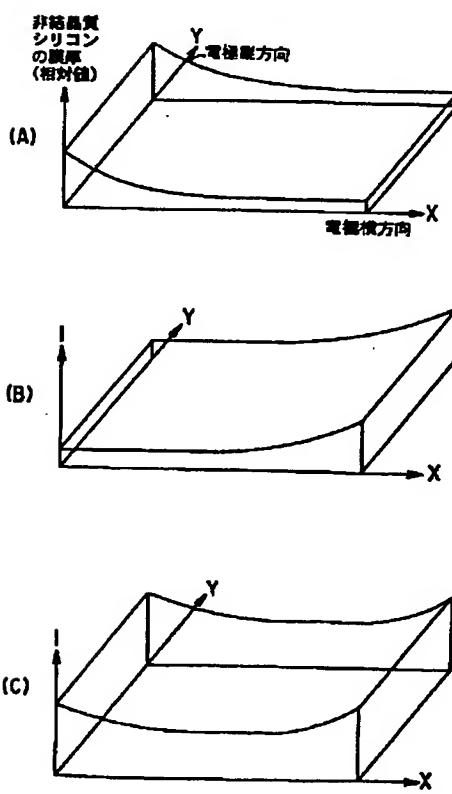
【図11】



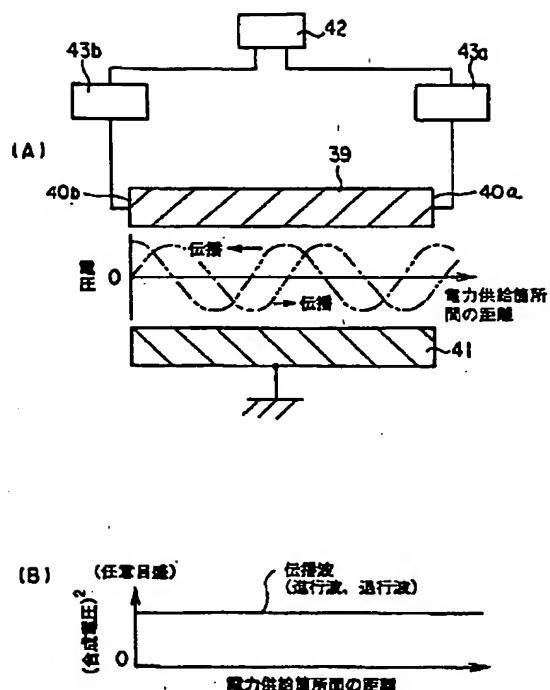
【図10】



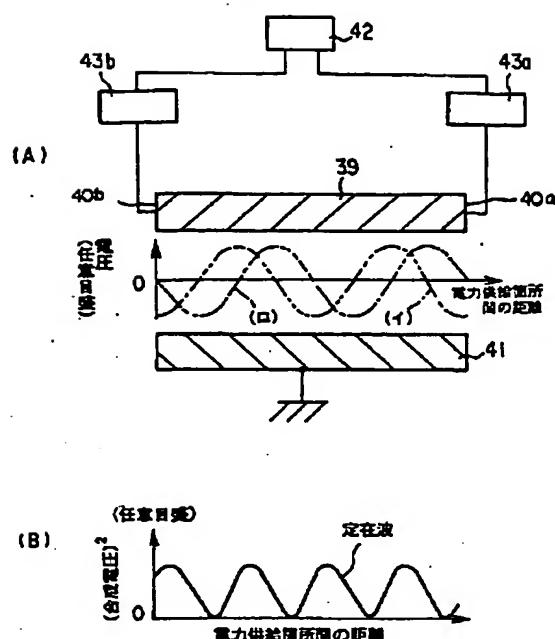
【図12】



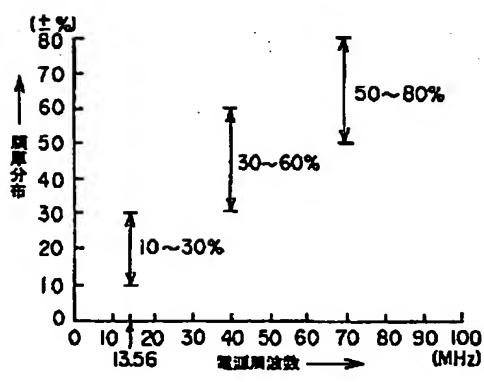
【図18】



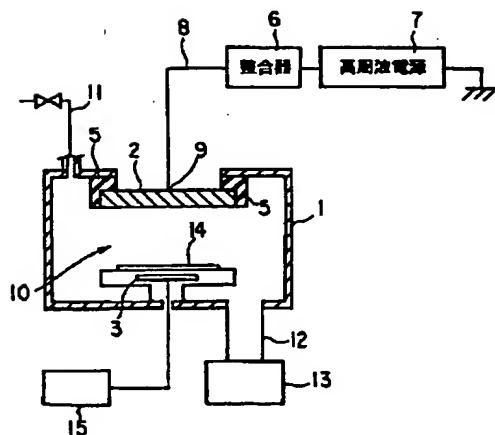
【図19】



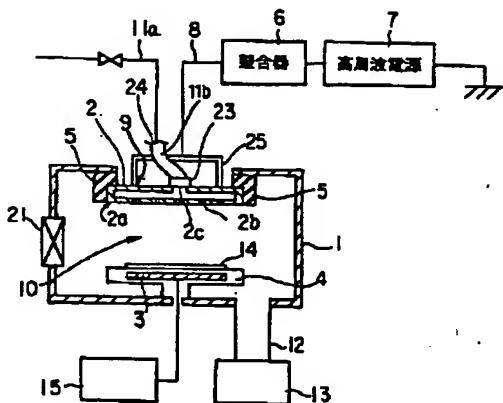
【図21】



【図22】



【図23】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年8月14日(2000.8.1)

4)

## 【手続補正1】

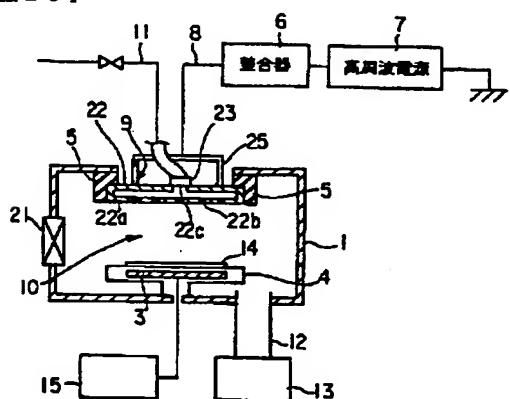
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図23

【補正方法】変更

【補正内容】

【図23】



フロントページの続き

(S1) Int.Cl.<sup>7</sup>  
 H 01 L 21/3065  
 21/31  
 H 05 H 1/46

識別記号

F I  
 H 01 L 21/31  
 H 05 H 1/46  
 H 01 L 21/302

テーマコード(参考)  
 C  
 M  
 C

(72)発明者 真島 浩  
長崎県長崎市深堀町五丁目717番1号 三  
菱重工業株式会社長崎研究所内  
(72)発明者 青井 辰史  
長崎県長崎市飽の浦町1番1号 三菱重工  
業株式会社長崎造船所内

F ターム(参考) 2H088 FA19 FA30 HA01 HA08 MA20  
2H090 JB02 JB04 JC07 JC09 LA04  
4K030 AA06 BA30 BB03 BB04 EA04  
EA11 FA01 KA15 KA17 KA18  
KA24 KA30 LA16  
5F004 AA00 BA04 BB11 BB13 CA03  
DA01 DA13 DA18  
5F045 AB02 AB04 AC01 AD05 AD06  
AD07 BB01 CA13 EH01 EH13  
EH19

THIS PAGE BLANK (USPTO)